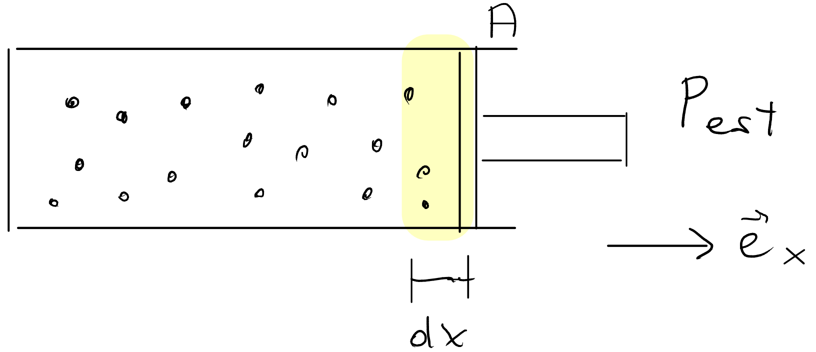
Lavoro meccanico

Sistema comprimibile



Lavoro scambiato dal sistema con il ambiente

$$\delta W = \underbrace{-P_{est} A\, \vec{e}_x}_{\text{forza esterna}} \cdot \underbrace{dx\, \vec{e}_x}_{\text{spostamento}} = -P_{est}\, dV = -\delta W_{est}$$

Compressione : $dV < 0 \Rightarrow \delta W > 0 \rightarrow$ aumento energia del sistema

Espansione : $dV > 0 \Rightarrow \delta W < 0 \rightarrow$ diminuisco energia del sistema

Trasformazione da i a f

$$W = \int_i^f \delta W = -\int_i^f P_{est}\, dV$$

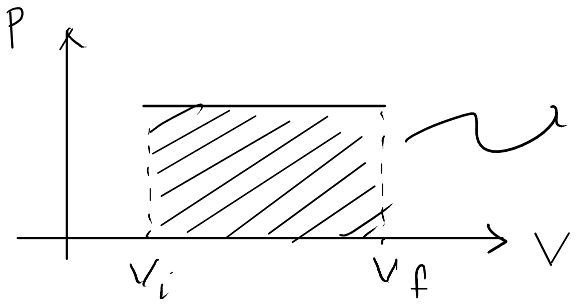
Trasformazione QS : $P = P_{est}$

$$W = \int_i^f \delta W = -\int_i^f P\, dV$$

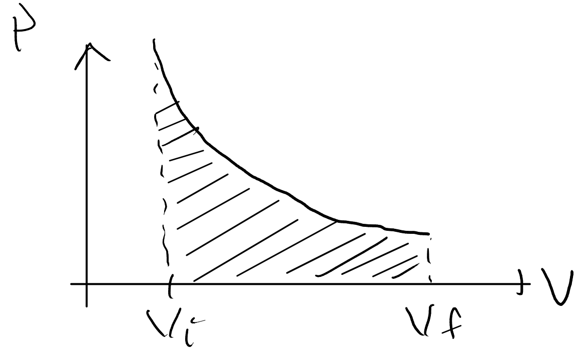
Esempi :

- isocora : $V = \text{cost}$ $\quad dV = 0 \quad \Rightarrow \quad \delta W = 0 \quad \Rightarrow \quad W = 0$
- isobara e QS : $P = \text{cost}$

$$W = -\int_i^f P_{est}\, dV = -\int_i^f P\, dV = -P\int_i^f dV = -P\Delta V = -P(V_f - V_i)$$



area sottesa = − lavoro meccanico



- $P_{est} = \text{cost}$, non QS

$$W = -\int_i^f P_{est}\, dV = -P_{est}\Delta V = -P_{est}(V_f - V_i)$$

− $V_f < V_i \quad W > 0$

− $V_f > V_i \quad W < 0$

- isoterma, gas perfetto, QS $\quad V_i \to V_f$, $n = \text{cost}$

$$W = -\int_i^f P_{est}\, dV \underset{\uparrow \, QS}{=} -\int_i^f P\, dV \underset{\uparrow \, g.P}{=} -\int_i^f \frac{nRT}{V}\, dV = -nRT\int_{V_i}^{V_f}\frac{dV}{V} = -nRT\ln\left(\frac{V_f}{V_i}\right)$$

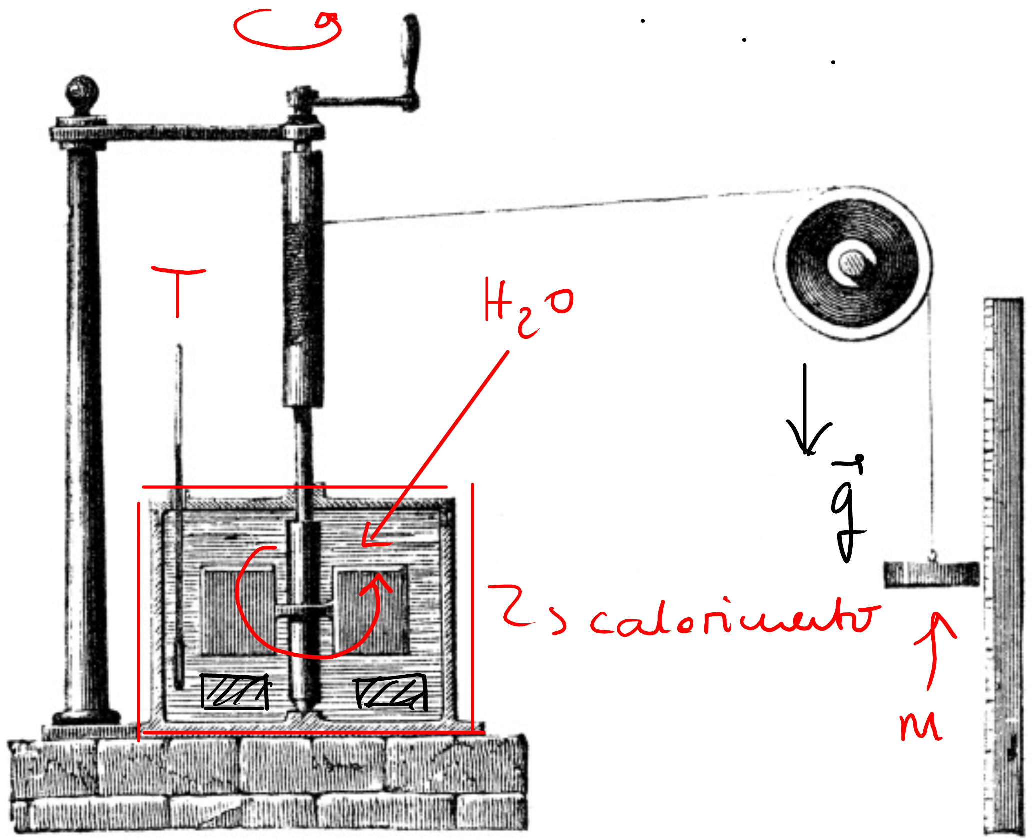
PRIMO PRINCIPIO DELLA TERMODINAMICA

Trasferimenti di energia

→ Lavoro meccanico : W

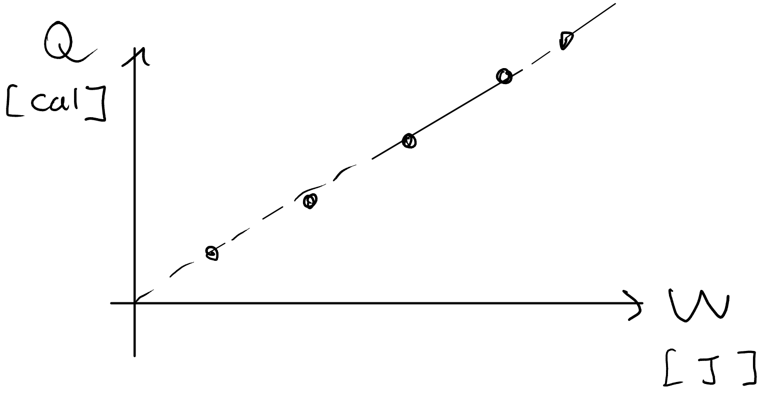
→ Calore : $Q \sim \Delta T$

1 caloria : aumentare 1 °C la temperatura di 1 g da 14,5 °C a 15,5 °C



Esperimento di Joule 1843

$W \sim Q$

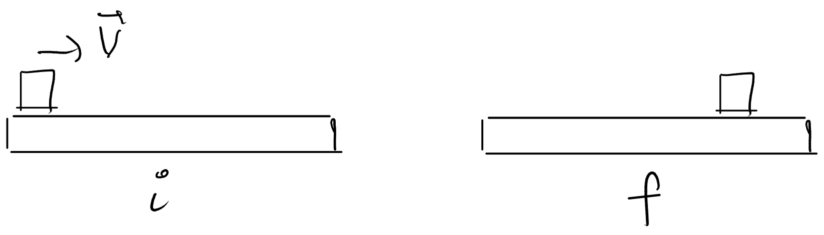


$$W = 4{,}18 \frac{J}{cal} \, Q$$

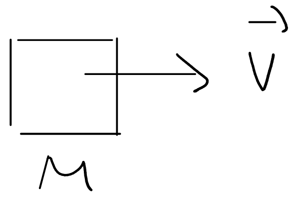
$$1 \text{ cal} = 4{,}18 \text{ J}$$

equivalenza lavoro meccanico e calore   SI : J

Conservazione dell'energia in un sistema isolato



Postulo l'esistenza di una variabile di stato : energia interna



Primo principio : ogni sistema macroscopico è caratterizzato da una variabile di stato, U, detta energia interna, estensiva e additiva, tale che

$$dE_c + dU = 0$$

se il sistema è isolato.

$$d(E_c + U) = 0$$

$$E_c + U = \text{cost}$$

Sistema a riposo : $\vec{V} = \vec{0}$

$dU = 0$ isolato

Motto : l'energia dell'universo è costante

Calore : sistema non isolato $\vec{V} = \vec{0}$

$$\delta Q \equiv dU - \delta W \qquad SI: \; J$$

$$\left[\begin{array}{l} \vec{V} \neq \vec{0} \\ \delta Q \equiv dE_c + dU - \delta W \end{array} \right]$$

$$dU = \delta W + \delta Q$$

Trasformazione tra i e f

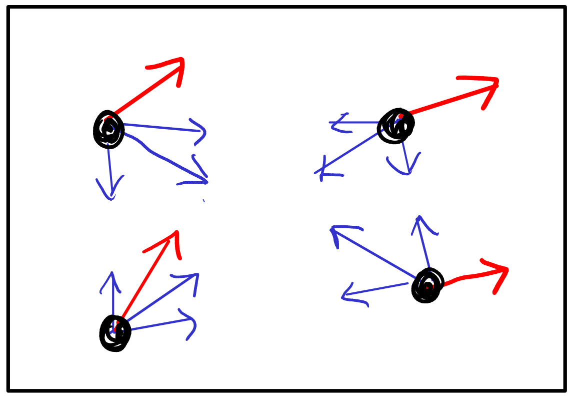
$$\Delta E_c + \Delta U = 0 \qquad \text{isolato}$$

$$Q \equiv \Delta U - W \qquad \vec{V} = \vec{0}$$

$$\Delta U = W + Q$$

Interpretazione microscopica di energia interna e lavoro

forze interne $\vec{F}_{int}$



forze esterne
↓
ambiente

$\vec{F}_{est}$

M $\quad \vec{V} \longrightarrow$

Teorema dell'energia cinetica

$$\Delta E_c^{tot} = W(\Sigma \vec{F}_{int}) + W(\Sigma \vec{F}_{est})$$

$$\Delta E_c + \Delta E_c^{(m)} = -\Delta E_p^{(m)} + W(\Sigma \vec{F}_{est})$$

$E_c = \frac{1}{2} M |\vec{V}|^2 \qquad E_c^{(m)} = \sum_{i=1}^{N} E_{ci}$ → nel sistema di rif in cui il CM è fermo

$$\Delta E_c + \Delta E_c^{(m)} + \Delta E_p^{(m)} = W(\Sigma \vec{F}_{est})$$

Sistema isolato $\Sigma \vec{F}_{est} = \vec{0}$

$$\Delta E_c + \underbrace{\Delta E_c^{(m)} + \Delta E_p^{(m)}} = 0$$

$$\Delta(\underbrace{E_c^{(m)} + E_p^{(m)}})$$

$U \equiv$ energia interna : somma di energie cinetiche e potenziali microscopiche

isolato
↑
$\Delta E_c + \Delta U = 0$ I pr.

Sistema non isolato

$$\begin{array}{ccc} & W_i[\Sigma \vec{F}_{est}] & \\ \swarrow\ \searrow & & \swarrow\ \searrow \\ \vec{F} + \vec{f}_i & & d\vec{r} + d\vec{r}_i \end{array}$$

$$\sum_{i=1}^{N} W_i[\Sigma \vec{F}_{est}]$$

$$\vec{F} \cdot d\vec{r} \qquad \sum_{i=1}^{N} \vec{f}_i \cdot d\vec{r}_i$$

lavoro su scala macro

lavoro su scala micro

$$\Delta E_c + \Delta U = \underbrace{\vec{F} \cdot d\vec{r}}_{W} + \underbrace{\sum_{i=1}^{N} \vec{f}_i \cdot d\vec{r}_i}_{Q}$$

$\Rightarrow$ calore è una forma di lavoro su su scala microscopica